med 34

Hamburg 1961

Dosismessungen in der pädiatrischen Röntgendiagnostik

Von Susanne Erhard

Aus der Universitäts-Kinderklinik Hamburg
(Direktor: Professor Dr. med. K. H. Schäfer)

Dosismessungen in der pädiatrischen Röntgendiagnostik

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von
Susanne Erhard
aus Schwäbisch Hall

Hamburg 1961

Angenommen von der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg
am 24. Januar 1961

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Dekan: Professor Dr. R. Prévôt
Referent: Privatdozent Dr. Lassrich
Korreferent: Professor Dr. Schäfer

Satz und Druck: Druckerei E. Schwend KG, Schwäbisch Hall

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	4
II. Ziel der Arbeit	4
III. Strahlenwirkung und Strahlendosis	4
IV. Strahlenbelastung	7
V. Meßmethodik	8
VI. Messungen	11
VII. Meßergebnisse	12
VIII. Ovarialdosis	22
IX. Vergleich mit den Dosiswerten anderer Untersucher	24
X. Diskussion	27
XI. Zusammenfassung	34
Literaturverzeichnis	35
Anhang: Magen-Darm-Passage	38

I. Einleitung

Die Strahlenbelastung des Menschen ist seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen im Jahre 1895, ganz besonders aber seit der Entdeckung der Kernspaltung im Jahre 1938 durch HAHN und STRASSMANN und ihrer Weiterentwicklung zur Gewinnung von Atomenergie zu einem allgemein bekannten und viel diskutierten Problem geworden.

Zu der natürlichen Grundstrahlung, die sich aus der Umgebungsstrahlung, der kosmischen Strahlung und der Eigenstrahlung des Körpers zusammensetzt und die schon seit Jahrtausenden auf den Menschen einwirkt, ohne erkennbare Schädigungen hervorzurufen, kommen nun noch die Röntgenstrahlen hinzu und Strahlen, die bei dem Zerfall radioaktiver Isotope entstehen. Beide werden in der Medizin und in der Industrie verwendet. Eine zusätzliche Bestrahlung erfolgt durch die radioaktiven Isotope, die als Zerfallsprodukte bei Atomexplosionen entstehen.

Die technischen Fortschritte bringen also eine Erhöhung der auf den menschlichen Organismus einwirkenden Strahlenmengen mit sich und damit möglicherweise eine Erhöhung der somatischen Gefährdung für die jetzt lebende und der genetischen Gefährdung für spätere Generationen.

Es besteht daher der Anlaß, die Strahlenbelastung der Bevölkerung zu untersuchen und zu diesem Zweck die möglichen Strahlenquellen zu überprüfen.

II. Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit waren Dosismessungen bei Röntgenuntersuchungen von Kindern im Rahmen der Röntgendiagnostik der Universitäts-Kinderklinik Hamburg. Besondere Berücksichtigung fand dabei die Strahlenbelastung der Gonaden.

Eine besonders hohe Strahlenbelastung der Gonaden ist bei Röntgenuntersuchungen des Abdomens und des Beckens und bei längeren Durchleuchtungen des Bauchraumes zu erwarten. Bei diesen Untersuchungen wurden deshalb Messungen der Gonadendosis und der Oberflächendosis vorgenommen.

III. Strahlenwirkung und Strahlendosis

Beim Durchgang durch Materie erfährt die Röntgenstrahlung wie jede ionisierende Strahlung einen Energieverlust, die sogenannte Schwächung. Sie beruht auf zwei Effekten, der Absorption und der Streuung.

Bei langwelliger Strahlung überwiegt der Einfluß der Absorption. Die Energie der absorbierten Strahlung wird von den Atomen des durchstrahlten Stoffes aufgenommen und führt zur Ionisation, d. h. zur Abgabe von Photoelektronen und zur Aussendung einer Fluoreszenzstrahlung. Sie ist wesentlich langwelliger als die Primärstrahlung.

Eine größere Rolle spielt die Compton-Streuung, die vor allem durch kurzwelligere Strahlung hervorgerufen wird. Hierbei gibt die Primärstrahlung einen Teil ihrer Energie an Elektronen der durchstrahlten Materie ab und beschleunigt sie. Auch hierbei entsteht eine langwelligere Röntgenstrahlung.

Hinzu kommt noch die sogenannte klassische Streuung ohne Energieverlust.

Die gesamte in dem durchstrahlten Körper erzeugte Sekundärstrahlung einschließlich der sogenannten klassischen Streuung der Röntgenstrahlung an den Atomen, die ohne Änderung der Wellenlänge erfolgt, breitet sich in diesem Wellenlängenbereich nach allen Seiten aus (STUART).

Die ausgelösten Photo- und Comptonelektronen spalten ihrerseits durch Ionisation weitere Elektronen ab: In der durchstrahlten Materie wird Elektronenenergie erzeugt (STUART). In der lebenden Zelle werden die empfindlichen Zentren, speziell die Fermentsysteme und die Gene besonders geschädigt (OESER).

Nicht alle Körpergewebe sind gleich empfindlich gegenüber ionisierender Strahlung. Die höchste Sensibilität weisen Lymphgewebe, Knochenmark und Thymus auf, es folgen Ovarien, Hoden, Schleimhäute, Speicheldrüsen, Haarpapille, Schweiß- und Talgdrüsen und die Epidermis. Die geringste Empfindlichkeit haben Knochen, Ganglienzelle und Nerven (HOLTHUSEN).

Für wachsende Gewebe sind folgende Regeln von Bedeutung:

1. Die Strahlenempfindlichkeit wächst mit der Intensität der reproduktiven Tätigkeit.
2. Die Strahlenempfindlichkeit ist bei unausgereiften Zellen (Stammzellen) größer als bei ausgereiften.
3. Die Strahlenempfindlichkeit erfährt während der Mitose eine erhebliche Steigerung (HOLTHUSEN).

Hieraus folgt, daß für den kindlichen Organismus eine höhere Strahlensensibilität besteht als für den erwachsenen. Hinzu kommt noch, daß die Strahlenempfindlichkeit mit dem Wassergehalt des Gewebes wächst. Auch in dieser Hinsicht besteht im Kindesalter eine erhöhte Strahlenempfindlichkeit, denn der Wassergehalt des Gewebes nimmt im Laufe des Lebens ab. Er beträgt beim Neugeborenen 80% gegenüber 72% bei einem Erwachsenen (HARTUNG).

Die Frage, ob auch die kindlichen Keimzellen gegenüber ionisierenden Strahlen

besonders empfindlich sind, kann noch nicht endgültig beantwortet werden. Es ist jedoch theoretisch zumindest keine höhere Empfindlichkeit zu erwarten, da bis zur Pubertät die Keimzellen als ruhende Oogonien bzw. Spermatogonien vorliegen (HARTUNG).

Aus den verschiedenen Wirkungen der Röntgenstrahlen ergeben sich viele Möglichkeiten, die Strahlen nachweisen und zu messen.

Der einfachste Nachweis geschieht durch die Schwärzung eines Films oder das Aufleuchten eines Leuchtschirmes. Für die Messung der Strahlen wird am häufigsten die Ionisation ausgenutzt. Als Meßinstrument dienen Ionisationskammern. Auch für diese Arbeit wurden solche Kammern benutzt.

Aus der dabei verwendeten Eigenschaft der Röntgenstrahlen — der Ionisation von Luft — wurde auch die Definition für die Einheit der Röntgenstrahlendosis, das r, abgeleitet und auf dem V. Internationalen Radiologenkongreß 1937 folgendermaßen formuliert:

> Das Röntgen soll eine solche Menge von Röntgen- oder Gammastrahlung sein, daß die mit ihr verbundene Korpuskularemission bezogen auf 0,001293 g Luft Ionen beiderlei Vorzeichens erzeugt, welche eine freie Elektrizitätsmenge von 1 elektrostatischen Einheit mit sich führen (zit. nach GLOCKER).

0,001293 ist die Masse von 1 ccm trockener Luft von 0° C und 760 mm Hg.

Eine leichtere Vorstellung ermöglicht die Merkregel von GLOCKER: Die Dosis 1 r bedeutet, daß unabhängig von der Wellenlänge der Röntgenstrahlen in 1 g Gewebe eine Elektronenenergie von 84 erg erzeugt wird.

Bei der Strahlenmessung in der Röntgendiagnostik verwendet man als Maßeinheit das Milliröntgen = mr = $^1/_{1000}$ r.

Weitere Möglichkeiten der Strahlenmessung sind:

> Leitfähigkeitsmessungen in Halbleitern
> Lichtmessung von Lumineszenzkristallen
> Änderung des chemischen Aufbaues gewisser Stoffe (Farbdosimeter, Glasdosimeter).

Die Intensität der Röntgenstrahlung nimmt mit dem Quadrat des Abstandes vom Brennfleck der Röntgenröhre ab. Dazu kommt die Schwächung, die die Strahlung in der durchstrahlten Materie erfährt. Die Schwächung ist um so größer, je weicher, d. h. langwelliger die Strahlung ist. Sie hängt von der Ordnungszahl des absorbierenden Stoffes und von der Zahl der Atome in der Volumeinheit ab.

Normalerweise erstreckt sich das kontinuierliche Spektrum der Röntgenstrahlung über einen großen Wellenbereich. Es können aber die weichen Strahlungen

weitgehend durch Filter absorbiert werden. In der medizinischen Röntgentechnik werden Filter aus Aluminium- und Kupferblech verwendet. Die Qualität einer Strahlung wird deshalb im Bereich der Röntgendiagnostik der Einfachheit halber durch die Angabe der Anodenspannung und der Filterung gekennzeichnet.

Die Eigenschaft, beim Durchgang durch Materie Elektronenenergie zu erzeugen, findet sich nicht nur bei Röntgenstrahlen, sondern sie ist allen sogenannten ionisierenden Strahlen gemeinsam.

Die Maßeinheit des r gilt jedoch definitionsgemäß nur für Röntgen- und Gammastrahlen. Eine Dosiseinheit, die für jede Art von ionisierender Strahlung angewendet werden kann, wurde in dem rep definiert. 1 rep (= roentgen equivalent physical) ist diejenige Menge irgendeiner ionisierenden Strahlung, bei der eine Energieabsorption von 83 erg pro 1 ccm Gewebe erfolgt. Das gleiche gilt für 1 r Röntgen- oder Gammastrahlung mittlerer Härte.

Da die verschiedenen Strahlen aber bei physikalisch übereinstimmender Dosis nicht die gleiche biologische Wirkung haben, wurde noch eine weitere Einheit, das rem, geschaffen. 1 rem (= roentgen equivalent man) ist die Einheit einer beliebigen ionisierenden Strahlung, deren biologische Wirkung derjenigen von 1 rep Roentgen- oder Gammastrahlung mittlerer Härte entspricht.

Eine universell anwendbare Einheit, das rad, wurde zur Vereinheitlichung der Dosimetrie auf dem Internationalen Radiologenkongreß in Kopenhagen 1953 festgelegt. 1 rad (= roentgen absorbed dose) entspricht einer Energieabsorption von 100 erg je Gramm Masse. Das rad ist die Dosiseinheit für alle ionisierenden Strahlen und berücksichtigt auch die unterschiedliche Absorption in verschiedenen Stoffen bzw. Geweben (Schlungbaum, Seelentag).

IV. Strahlenbelastung

Um den Begriff der Strahlenbelastung durch Röntgenstrahlen näher zu beschreiben, ist eine Aufteilung in 4 Dosisarten zweckmäßig: Oberflächendosis, Austrittsdosis, Volumendosis und Gonadendosis. Nach ihrer möglichen schädigenden Wirkung müssen sie getrennt betrachtet werden: Alle Dosisarten können eine somatische Schädigung des betroffenen Patienten zur Folge haben; für die genetische Schädigung und ihre möglichen Auswirkungen auf die Nachkommenschaft ist dagegen allein die Gonadendosis bestimmend (Mohr).

Die Oberflächendosis setzt sich aus 2 Komponenten zusammen, aus der sogenannten Eintrittsdosis, d. h. der Dosis, die mit dem primären Strahlenkegel auf die Körperoberfläche auftritt, und aus dem Streuanteil, d. h. der aus dem Körper, insbesondere der Haut, zurückgestrahlen Streustrahlung.

Die Austrittsdosis setzt sich aus der von dem durchstrahlten Körper nicht geschwächten Primärstrahlung und der aus dem Körper kommenden Streustrahlung zusammen. Sie muß eine bestimmte Größe erreichen, um eine ausreichende Schwärzung des Films hervorzurufen bzw. die Beobachtung auf dem Leuchtschirm zu ermöglichen, z. B. 1 bis 2 mr für eine gebräuchliche Film-Folien-Kombination.

Beide Größen hängen miteinander zusammen. Die Austrittsdosis ist etwa 10- bis 100mal kleiner als die Oberflächendosis. Wenn beide Größen sowie auch die Feldgröße und der Durchmesser des Patienten bekannt sind, kann näherungsweise die Volumendosis errechnet werden. Sie wird in Röntgen × Liter angegeben und sagt etwas aus über die im Körper absorbierte Röntgenstrahlung. Es ist leicht einzusehen, daß sie proportional mit der Feldgröße wächst.

Der Begriff Gonadendosis bedarf keiner weiteren Erläuterung. Die Strahlung kann dabei mit dem Primärstrahlenbündel oder, wenn die Gonaden nicht im direkten Strahlengang liegen, als Streustrahlung auf die Gonaden treffen.

V. Meßmethodik

Die verschiedenen Möglichkeiten, Röntgenstrahlen zu messen, wurden bereits kurz erwähnt. Hier soll nun darauf eingegangen werden, welche Eigenschaften ein Meßgerät haben muß, wenn es während normaler Routineuntersuchungen verwendet werden soll.

1. Es darf bei der Untersuchung nicht stören und den Patienten nicht behindern.
2. Es darf keine Abänderung der normalen Untersuchungsbedingungen erforderlich machen, da sonst eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Untersucher nicht möglich ist.
3. Es muß klein sein, damit der Meßort möglichst genau lokalisiert werden kann.
4. Es darf keine große Wellenlängenabhängigkeit aufweisen, weil das bei den Röntgenuntersuchungen verwendete Strahlengemisch heterogen ist.
5. Es sollte möglich sein, bei einer Untersuchung an mehreren Körperstellen gleichzeitig Messungen vorzunehmen, um z. B. die Oberflächendosis und die Gonadendosis gleichzeitig zu bestimmen.

Allen hier gestellten Anforderungen entspricht eine spezielle Art der Ionisationskammern, die Kondensatorkammer. Sie ist klein und stört weder den Untersucher noch den Patienten noch die Bildqualität. Außerdem können mehrere Kammern bei einer Untersuchung benützt werden, da sie vom Meßgerät unabhängig sind (Mohr).

Die Frage der Wellenlängenabhängigkeit wurde von SEELENTAG durch Bestimmung der Eichkonstanten bei verschiedenen Strahlenqualitäten genau untersucht. Es ergab sich dabei eine geringe Wellenlängenabhängigkeit der Kondensatorkammern, die aber für die normalerweise verwendeten Spannungen vernachlässigt werden kann.

Kondiometer und Kammern

Die Ionisationskammern bestehen aus einem strahlendurchlässigen Gehäuse aus annähernd luftäquivalentem Material und einer Mittelelektrode, die gegen das Gehäuse mit Bernstein isoliert ist. Vor den Messungen wird die Mittelelektrode auf eine bestimmte Spannung aufgeladen. Wird nun die Kammer einer ionisierenden Strahlung ausgesetzt, so werden die Atome der Luft in der Kammer ionisiert. Die Elektronen und Ionen wandern entlang den Feldlinien, und es entsteht so ein Ionisationsstrom, der eine Verringerung der Spannung zwischen Mittelelektrode und Gehäuse bewirkt. Die dadurch an den Elektroden entstehende Ladungsminderung ist der eingestrahlten Dosis proportional und wird als Maß verwendet.

Für die hier vorliegenden Messungen wurden Zylinderkammern mit einem Durchmesser von 15 mm und Kugelkammern mit einem Durchmesser von 10 mm verwendet.

Als Lade- und Meßgerät für die Kondensatorkammern wurde das Kondiometer benutzt. (Hersteller von Kondiometer und Kammern: Physikalisch-Technische Werkstätten Freiburg.) Die Kondensatorkammern werden auf eine in 3 Stufen regelbare Spannung aufgeladen. Zur Messung des durch die Strahlung in den Kammern hervorgerufenen Ladungsabfalles registriert man die Spannungsdifferenz nach der Bestrahlung. Dieser Ladungsabfall ist proportional der Strahlenmenge, von der die Kammern getroffen wurden.

Eichung

Eine zahlenmäßige Beziehung zwischen der eingestrahlten Dosis und dem am Kondiometer abgelesenen Spannungsverlust läßt sich ermitteln, wenn man die Kammern nach dem Aufladen einer bekannten Strahlendosis aussetzt:

$$\text{Eichkonstante} = \frac{\text{bekannte Dosis}}{\text{Skalenteile}}$$

Mit Hilfe dieser Eichkonstanten kann eine unbekannte Dosis errechnet werden als:

$$\text{Dosis } x = \text{Eichkonstante} \times \text{Skalenteile}$$

Für die hier durchgeführten Messungen wurden nacheinander zwei Kondiometer benutzt. Die Kammern wurden für beide Kondiometer geeicht, da die Aufladung der beiden Geräte etwas unterschiedlich war.

Die aufgeladenen Kammern wurden einer Strahlung von 70 kV und 5,5 bzw. 20 mAs ausgesetzt. Als Vergleichgerät diente ein Philips-Dosimeter mit Fingerhutkammer, die zwischen Röhre und Kammern aufgebaut war.

Nach dem Gesetz, daß die Intensität einer Röntgenstrahlung mit dem Quadrat des Abstandes vom Brennfleck abnimmt, errechnet sich die Dosis an den Kammern folgendermaßen:

$$\text{Dosis}_K = \frac{\text{Dosis (Philips)} \times (\text{Abstand Fokus-Fingerhutkammer})^2}{(\text{Abstand Fokus-Ionisationskammer})^2}$$

Es wurden jeweils mehrere Messungen durchgeführt und der Mittelwert der abgelesenen Skalenteile zur Errechnung der Eichkonstanten verwendet.

Zuvor wurde noch der Wert abgezogen, der sich bei der Bestimmung der Ladungsmenge der aufgeladenen Kammern aus der Eigenkapazität des Ladungssystems ergab. Es zeigte sich bei mehrfachen Kontrollen für jede Kammer ein ziemlich gleichbleibender Ausschlag von wenigen Skalenteilen, der dann auch später nach jeder Messung von den angezeigten Skalenteilen abgezogen wurde.

Übersicht über die ermittelten Eichkonstanten:

	1. Eichung	2. Eichung
Zylinderkammern	1,8— 2,1 mr/Skt.	1,6— 2,1
Kugelkammern	22,4—26,4	15,4—19,6

Nach Seelentag ist bei einer Entladung der Kammern etwa zwischen 15 und 165 Skalenteilen am Kondiometer (bei insgesamt 170 Skalenteilen) mit einer Linearität der Anzeige zu rechnen. Bei den hier verwendeten Kondiometern lag der höchste Ausschlag, d. h. der Ausschlag für völlig entladene Kammern, bei 145 bzw. 162 Skalenteilen. Es ergab sich also etwa folgender Meßbereich:

für Zylinderkammern	25—250 mr
für Kugelkammern	250—3000 mr

Der Stufenschalter am Kondiometer ermöglicht es, die Kammern auch mit der doppelten und dreifachen Ladungsmenge aufzuladen; dadurch kann der Meßbereich erweitert werden auf 25 bis 750 mr für Zylinderkammern und 250 bis 9000 mr für Kugelkammern.

Wie von Seelentag festgestellt wurde, können auch Meßwerte bei weniger als 10 Skalenteilen für Strahlenschutzmessungen verwendet werden, weil sie mit der größten Wahrscheinlichkeit zu hoch liegen und der Meßfehler also zumindest keinen zu niedrigen Wert vortäuscht. Erst in höheren Meßbereichen, jenseits von 165 Skalenteilen (für die hier verwendeten Kondiometer also etwa jenseits von 140 bzw. 155 Skalenteilen) kann die Anzeige erheblich zu niedrig sein.

VI. Messungen

Während der Messungen steckten die Kammern in kleinen Plastiktüten, die mit Tesafilm an der Haut des Patienten angeklebt waren.

Die Oberflächendosis wurde bei Aufnahmen im Zentralstrahl gemessen. Bei Durchleuchtungen wurde jeweils der Ort ausgewählt, der erfahrungsgemäß der Strahlung am meisten ausgesetzt war, für Magen-Darm-Passagen war dies die Haut über dem 1. und 2. Lendenwirbel. Bei Kontrasteinläufen, Ösophagusuntersuchungen und Cystographien wurde der Meßort nach Rücksprache mit dem Untersucher jedesmal neu bestimmt. Selbstverständlich besteht die Möglichkeit, daß andere Hautstellen dabei noch von einer höheren Strahlenmenge als der gemessenen getroffen wurden, zumal sich ja der Untersuchungsgang nicht immer mit Sicherheit im voraus bestimmen läßt. Es wurden deshalb manchmal mehrere Kammern an verschiedenen Stellen angeklebt. In solchen Fällen wurde nur die höchste gemessene Dosis gewertet.

Die Gonadendosis wurde in fast allen Fällen mit zwei Kammern gemessen, um eine möglichst große Genauigkeit zu erzielen. Die Kammern wurden bei Knaben an der Innenseite der Oberschenkel beiderseits der Hoden angeklebt und bei Mädchen in der Leistenbeuge. Auf die rektale Messung bei Mädchen wurde verzichtet, weil der Meßort nicht genau lokalisiert ist und die Meßergebnisse den eigentlichen Ovardosen zu wenig entsprechen. Für Aufnahmen wurde die Ovardosis aus der Oberflächendosis errechnet (siehe S. 22).

Die Röntgenuntersuchungen wurden mit Apparaten der Firma C. H. F. Müller, nämlich dem 6-Ventil-Apparat DA 1000 durchgeführt. Am Blendentisch war der Fokus-Film-Abstand 1 m, die Filterung 2 mm Al. Am Durchleuchtungsgerät betrug der Fokus-Film-Abstand 70 cm und weniger, die Filterung war 4 mm Al. Der Fokus-Haut-Abstand am Untersuchungsgerät UG 2 (Müller) beträgt für alle Durchleuchtungen 40 cm.

Altersgruppen

Die Meßergebnisse, die bei der gleichen Untersuchung, jedoch bei Kindern verschiedenen Alters gewonnen wurden, zeigen deutliche Unterschiede, die nicht allein durch die unterschiedlichen Belichtungsdaten erklärt werden können. Sie sind aber leicht zu verstehen, wenn man die Änderung der Körperproportionen während des Wachstums betrachtet. Beim Säugling entspricht die Körperlänge 4 Kopflängen, der Rumpf ist also relativ kurz und die Entfernungen, z. B. des Magens von den Gonaden, sind nicht nur absolut, sondern auch relativ viel kürzer als beim älteren Kind. Im 2. bis 4. Jahr entspricht die Körperlänge 5 Kopflängen, im 4. bis 7. Jahr 6 Kopflängen. Unsere Altersgruppeneinteilung richtet sich nach

diesen Unterschieden in den Proportionen:

Gruppe I: Kinder bis zu 1 Jahr
Gruppe II: Kinder von 1 bis 3 Jahren
Gruppe III: Kinder von 4 Jahren an

Die Meßergebnisse lassen sich in dieses Schema zwanglos einordnen.

Die einzelnen Untersuchungen kommen in den verschiedenen Altersgruppen nicht gleich häufig vor. So wurden z. B. Messungen bei Herzkatheterisierungen ausschließlich bei Kindern der Altersgruppe III durchgeführt. Auch bei den Magen-Darm-Passagen und Abdomenübersichtsaufnahmen überwiegt diese Altersgruppe. Auf diese Dinge soll bei der Besprechung der einzelnen Untersuchungen näher eingegangen werden.

VII. Meßergebnisse

A. Aufnahmen

Mit den 15-mm-Zylinderkammern, den empfindlichsten, die uns zur Verfügung standen, können Röntgendosen nur im Bereich von mr gemessen werden. Es kamen also Messungen nur bei denjenigen Röntgenuntersuchungen in Frage, die eine Gonadendosis von mindestens einigen mr erwarten ließen. Es zeigte sich, daß dies unter den Aufnahmen nur solche sind, bei denen die Gonaden im direkten Strahlengang oder nicht weit vom Rand des durchstrahlten Feldes liegen (Becken, Abdomen einschließlich Pyelogramm, Lendenwirbelsäule und Oberschenkel).

Diese Aufnahmen werden aber gerade wegen der verhältnismäßig hohen Gonadendosis nur bei strenger Indikation durchgeführt, so daß die entsprechenden Messungen nicht so häufig vorgenommen werden konnten. Es sind daher hier Ergebnisse von Messungen mit aufgeführt, die früher an derselben Röntgenabteilung und unter den gleichen Untersuchungsbedingungen durchgeführt worden waren (Müller DA 1000, FFA 100 ccm, Bucky-Tisch, Filter 2 mm Al, Cawo-Feinkorn-Folienkombination).

Es zeigt sich, daß die Gonadendosen sich von den im Zentralstrahl gemessenen Oberflächendosen nur wenig unterscheiden. Auffallend oft ist die Gonadendosis nur um wenige Milli-Röntgen kleiner, möglicherweise kommt darin der Dosisabfall zu den Feldrändern hin zum Ausdruck. In anderen Fällen ist der Unterschied größer. Wahrscheinlich lagen die Meßkammern hier genau auf dem Feldrand und wurden nur teilweise vom direkten Strahlenbündel getroffen. Nur in einem Fall ist die Gonadendosis sehr viel geringer als die Oberflächendosis. Vermutlich war hier die Ausblendung so, daß die Kammern ganz außerhalb des direkten Strahlenbündels lagen. Die zwischen den einzelnen Altersgruppen bestehenden Dosisunterschiede erklären sich leicht durch die verschiedene Belichtungseinstellung.

1. Beckenaufnahmen:

Alter	Format cm	Kilovolt	Milliampère-Sekunden-Produkt	Gonadendosis in mr	Gonadendosis unter Bleischutz	Oberflächendosis
Gruppe I						
3 Mo.	18/24	52	25	180		190
7 Mo.		56	20	39		60
Gruppe II						
1. J.	18/24	48	30	116		145
16 Mo.		56	25	162		163
1 1/2 J.		48	40	165		164
1 3/4 J.		48	30	109		121
2 J.		52	35	210		
2 1/2 J.		56	25	40		161
2 1/2 J		53	20	124		
3 J.		56	25	183		179
Gruppe III						
4 J.	24/30	55	40	288	11	320
4 J.		56	35	290	14	295
4 J.		58	40	375		397
4 J.		62	40	416		
4 J.		64	45	492		587
5 J.		56	30	188		246
5 J.		52	35	210	14	246
5 J.		62	30	270		265
5 J.		58	40	370	30	376
5 J.		62	40	468	41	488
7 J.		58	40	250	10	455
7 J.		54	35	260	10	296
10 J.		58	50	350		386
12 J.		58	40	25		340
12 J.		58	40	420	26	442
12 J.		58	50	421	40	458
12 J.		58	50	480	41	502
13 J.		58	60	336	32	580
14 J.		58	40	276	9	450

Sehr bemerkenswert ist der Effekt des Bleischutzes. Es handelt sich dabei um eine gewölbte ovale Bleiplatte von etwa 3 mm Dicke, die bei Knaben als Schutz für die Gonaden verwendet wird, wenn sie im direkten Strahlengang liegen. Es wurden sowohl u n t e r als auch ü b e r der Bleiplatte Meßkammern befestigt. Die Gonadendosis ließ sich durch diesen Bleischutz auf den 10. bis 20. Teil reduzieren.

2. Abdomenübersichtsaufnahmen (Rückenlage)

Diese Untersuchung wird hauptsächlich bei älteren Kindern durchgeführt. Als Indikation gilt allgemein die Klärung eines akuten abdominellen Krankheitsbildes. Die Aufnahme soll vom Zwerchfell bis zur Blasengegend reichen. Sie gibt eine Übersicht über Leber, Milz, Niere und Pankreas, über möglicherweise vorhandene intraabdominelle Verkalkungen und über die Luftverteilung (Ileus, Perforation).

Alter	Format cm	Kilovolt	Milliampère-Sekunden-Produkt	Gonadendosis in mr	Gonadendosis unter Bleischutz	Oberflächendosis
Gruppe I						
12 Wo.	18/24	52	25	184		190
Gruppe III						
4 J.	24/30	55	40	288	13	320
4 J.		56	35	293	13	295
4 J.		60	40	333	14	362
4 J.		60	30	344	17	352
4 J.		64	28	370	22	373
4 J.		58	40	372		404
4 J.		58	40	376		
4 J.		58	40	384		397
4 J.		62	40	420		
4 J.		64	25	466		587
5 J.		58	40	370	30	376
5 J.		62	40	467	36	488
5½ J.		58	35	21		232
6 J.		58	40	278		322
7 J.		58	40	236	10	455
7 J.		54	35	260	10	296
8 J.		58	40	170		354
8½ J.	30/40	58	40	22		390
9 J.		55	40	103		
10 J.	35/35	58	50	354		386
11 J.	30/40	58	45	275		432
11¾ J.		56	35	130		245
12 J.		58	50	422	41	458
12 J.		58	50	424	22	436
12 J.		58	50	503	41	502
13 J.		58	60	256	36	670
14 J.		58	40	276	9	450

Die Gonadendosis liegt in den meisten Fällen in der Größenordnung der Oberflächendosis. In wenigen Fällen ist sie sehr viel kleiner. Es kommt dabei eine geringe Verschiebung des unteren Feldrandes nach cranial zum Ausdruck, die bewirkt, daß die Gonaden außerhalb des primären Strahlenbündels liegen. Die Gonadendosis wird dadurch deutlich kleiner. Auch bei diesen Aufnahmen wurde bei Knaben der Bleischutz verwendet.

Abdomenübersichtsaufnahmen (Seitenlage)

Alter	Format cm	Kilovolt	Milliampère-Sekunden-Produkt	Gonadendosis in mr	Gonadendosis unter Bleischutz	Oberflächendosis
Gruppe III						
4 J.	24/30	78	60	386		825
4 J.		78	57	407		990
12 J.	30/40	72	50	33		890
12 J.		75	60	39		960

In den letzten beiden Fällen lagen die Gonaden nicht im direkten Strahlenbündel.

Abdomenübersichtsaufnahmen (Bauchlage)

Alter	Format cm	Kilovolt	Milliampère-Sekunden-Produkt	Gonadendosis in mr	Gonadendosis unter Bleischutz	Oberflächendosis
Gruppe III						
7 J.	24/30	92	5	11		137
7 J.		95	5	12		145
10 J.	30/40	96	6	13		194

Bei Abdomenübersichten in Bauchlage ist die Gonadendosis sehr viel kleiner als in Rückenlage. Sie finden aber nur in der Magen-Darm-Diagnostik Verwendung.

3. Intravenöses Pyelogramm

Die Untersuchung gibt Aufschluß über pathologisch-anatomische Veränderungen des Harntraktes und Einblick in die Nierenfunktion.

Vor der Injektion wird eine Übersichtsaufnahme gemacht zur Darstellung der Nierenschatten und zum Nachweis von Konkrementen. 5—8 min. und 15 min. nach der Injektion werden bei Ureterenkompression Aufnahmen zur Darstellung der gut gefüllten Nierenbecken gemacht, dann folgt eine Abflußaufnahme. Für die gesamte Untersuchung sind meist 4 bis 5 Aufnahmen erforderlich.

Alter	Format cm	Zahl	Kilovolt	Milliampère-Sekunden-Produkt	Gonadendosis in mr	Gonadendosis unter Bleischutz	Oberflächendosis
Gruppe I							
4 Wo.	24/30	1	56	25	340		640
		5	50	22			
12 Wo.	18/24	5	52	25	900		950
1 J.	18/24	1	54	25	654	11	665
		3	53	22			
Gruppe II							
2¾ J.	24/30	4	54	40	1048		1320
2¾ J.	18/24	4	52	35		17	870
		1	54	30			
Gruppe III							
4 J.	24/30	4	55	40	1332	56	1448
4 J.		5	55	40	2050	91	2315
4¼ J.		2	54	35	303		1030
		1	58	50			
5 J.		4	58	50	1480	120	1504
5½ J.		6	56	30	147		1200
7 J.		4	58	50	1040	40	1184
8½ J.	30/40	3	58	40	822		2296
	24/30	2					
10 J.	30/40	5	58	50	1740	106	1930
10½ J.	30/40	1	58	45	229	86	
	24/30	3	58	30			
12 J.	24/30	5	58	50	2120	110	2180
12½ J.	24/30	1	60	55	253	63	2550
	30/40	2	65	55			
		1	66	50			
13 J.	30/40	4	58	50	1760	136	2680
14 J.	30/40	4	58	50	1620	85	1800

Hier ist die Gonadendosis weitgehend vom Filmformat abhängig. In 5 Fällen der Gruppe III wurden für die ersten Aufnahmen nach der Injektion, auf denen die Blase nicht unbedingt sichtbar sein muß, kleinere Filme verwendet oder das Feld nach oben hin verschoben, so daß die Gonaden bei diesen Aufnahmen nicht im direkten Strahlenbündel lagen. Die Gonadendosis wird dadurch erheblich reduziert.

4. Lendenwirbelsäule

Alter	Format	Kilovolt	Milliampère-Sekunden-Produkt	Gonadendosis in mr	Oberflächendosis
Gruppe III					
sagittal					
4½ J.	15/40	60	45	12	453
5 J.		58	40	18	338
6 J.		56	30	11	171
seitlich					
4 J.	24/30	68	60	7	825
4 J.		74	58	10	925
4 J.		78	57	12	960
4½ J.	15/40	64	65	9	700
5 J.		64	65	11	795
13 J.		68	65	13	824

5. Oberschenkel mit Hüftgelenk

Alter	Format	Kilovolt	Milliampère-Sekunden-Produkt	Gonadendosis in mr	Gonadendosis unter Bleischutz	Oberflächendosis
Gruppe I						
4 Mo.	15/40	52	25	200		
Gruppe III						
4 J.	15/40	55	40	288	13	320
4 J.		60	40	333	14	362
5 J.		52	35	209	3	246
5 J.		52	35	210	5	246 (Lauenstein-Projektion)

Auch bei diesen Aufnahmen wurde durch den Bleischutz eine wesentliche Verringerung der Gonadendosis erreicht.

Aus den Meßergebnissen ist ersichtlich, daß bei den Aufnahmen die Gonadendosis durch 2 Maßnahmen erheblich herabgesetzt werden kann:

1. durch Verwendung eines Bleischutzes,
2. durch sorgfältige Einblendung am unteren Feldrand in der Nähe der Gonaden.

B. Kombinierte Untersuchungen (Durchleuchtung und Aufnahme)

Es wurden bei Kontrastdarstellungen des Magen-Darm-Traktes und der Blase Messungen durchgeführt.

1. Ösophagusdarstellung

Sie dient zum Nachweis von Fremdkörpern, Mißbildungen, Entzündungen und funktionellen Störungen sowie von Herzveränderungen, Gefäßanomalien, Mediastinaltumoren und -verlagerungen.

Es wird eine sahneartige Bariumaufschwemmung verwendet, die relativ lange Zeit auf der Schleimhaut des Ösophagus haften bleibt. Um die Geschwindigkeit der Ösophaguspassage weiter zu verlangsamen, wird das Kind in Horizontal- oder in Kopf-Tief-Lage gebracht. Während der Untersuchung wird das Kind gedreht und der Ösophagus von allen Seiten tangential abgeleuchtet. Mit Übersichts- oder Zielaufnahmen lassen sich alle pathologischen Befunde festhalten.

Alter	Durchleuchtung			Aufnahmen				Gonadendosis mr	Oberflächendosis
	Kilovolt	Milliampère	min	Zahl	Format	Kilovolt	Milliampère Sek.-Produkt		
Gruppe I									
4 T.	65	0,5	4¼	1	18/24	48	8	8	340
7 T.	65	0,5	5¼	1	18/24	56	5	9	75
				2	13/18				
				2 Ziel-A.	8 cm ∅				
6 Wo.	65	0,5	3	2	13/18	58	6	12	26
2½ Mo.	65	0,5	4½	2	18/24	56	6	6	178
				4 Ziel-A.					
2½ Mo.	65	0,5	1½	1	18/24	58	6	7	101
Gruppe II									
13 Mo.	65	0,5	1¾	4	18/24	58	6	5	3160
17 Mo.	68	0,5	3¼	1	18/24	66	6	nicht	138
				1	18/24	74	6	meßbar	
2½ J.	70	0,6	3¼	1	18/24	68	5,5	nicht	115
				1	24/30			meßbar	
				1	24/30	70	7		
Gruppe III									
14 J.	70	1	4¼	2	24/30	68	8	nicht	229
				1	30/40	68	6	meßbar	
				2 Ziel.-A.					
				1	30/40	94	7		

Bei größeren Kindern ist die Gonadendosis mit Zylinderkammern nicht meßbar, sie liegt also sicher unter 2 mr.

2. Magen-Darm-Passage

Die Indikation zu dieser Untersuchung ist bei allen akuten und chronischen Baucherkrankungen und -beschwerden gegeben, wenn nicht durch die Anamnese, die klinische und Laboratoriumsdiagnosstik eine ausreichende Klärung gewährleistet ist. Die Untersuchung besteht aus einer sorgfältigen Durchleuchtung, die mit gezielten Aufnahmen (13/18—24/30) und gezielten Blendenaufnahmen (8 cm ∅) unter Kompression kombiniert ist. Ferner wird jeweils eine Übersichtsaufnahme in Bauch- oder Schräglage am Blendentisch angefertigt.

Durch Hin- und Herdrehen des Kindes verschafft sich der Untersucher ein plastisches Bild der kontrastgefüllten Organe. Die Palpation ermöglicht es, Konsistenz und Verschieblichkeit der Schlingen zu prüfen, Resistenzen und Druckschmerz zu lokalisieren und einzelne Schlingen auseinanderzudrängen und übersichtlich darzustellen.

Während des größten Teils der Untersuchung wird mit eng ausgeblendetem Feld gearbeitet (8—10 cm Seitenlänge). Das geschieht einerseits aus Gründen des Strahlenschutzes, andererseits wäre das Feld sonst zu unübersichtlich und die Darstellung der Organe durch vermehrte Streustrahlung verschlechtert.

Optimale Dunkeladaptation und genügende Erfahrung mit der Untersuchungstechnik sind Voraussetzungen für kurze Durchleuchtungszeiten (Lassrich).

Als zusätzlicher Strahlenschutz findet, besonders bei der Untersuchung der Ileocöcalgegend, ein Stück Bleigummi Verwendung. Es wird unter das Kind geschoben und schützt die Gonaden vor direkter Strahlung.

Gruppe II

Alter	Durchleuchtung			Aufnahmen				Gonadendosis mr	Oberflächendosis
	Kilovolt	Milliampère	min	Zahl	Format	Kilovolt	Milliampère Sek.-Produkt		
Gruppe II									
2 J.	80	0,75	6½	5	18/24	76—88	4—6	69	
					24/30				
				2 Ziel-A.					
2½ J.	65	1	5¼	9	13/18	68	7	37	2170
					18/24				
2½ J.	65	1	½	3	18/24	58	12	42	1851
					24/30	82	4—5		

Gruppe III

In dieser Altersgruppe wurden — entsprechend den häufigen Bauchbeschwerden des Schulkindes — besonders viele Magen-Darm-Passagen durchgeführt. Deshalb konnten bei 41 Untersuchungen Messungen vorgenommen werden.

Die Meßergebnisse zeigen eine recht gute Übereinstimmung. Sie sind im einzelnen im Anhang angegeben.

Die Durchschnittswerte und die Grenzwerte sind:

Gonadendosis . . . . 13 mr (1—37)
Oberflächendosis . . . 2266 mr (283—3950)

Die technischen Daten: Durchleuchtung bei 65—70 kV und ½—1 mA durchschnittlich 8¼ min. lang (3—20½). 8—10 (0—18) gezielte Blendenaufnahmen ∅ 8 cm und bis zu 5 Aufnahmen vom Format 13/18, 18/24 und 24/30 bei folgenden Aufnahmedaten: 82—105 kV und 3,5—7 mAs. In fast allen Fällen wurde am Blendentisch eine Übersichtsaufnahme — selten 2 — in Bauchlage gemacht. Es wurden dazu Filme vom Format 24/30 oder 30/40 verwendet, die Belichtungsdaten waren 84—100 kV und 4,5—8 mAs.

Gruppe I

Eine Messung einer Magen-Darm-Passage liegt für diese Altersgruppe nicht vor. Als fast entsprechende Untersuchung kann jedoch die Kontrastfüllung einer Nabelfistel gelten, die aber nur sehr selten durchgeführt wird. Während der Dauer der Messungen war dies einmal der Fall.

Alter	Durchleuchtung			Aufnahmen				Gonadendosis mr	Oberflächendosis
	Kilovolt	Milliampère	min	Zahl	Format	Kilovolt	Milliampère Sek.-Produkt		
3 Wo.	65	½	3	4	18/24	68	5	40	654

3. Kontrasteinlauf

Bei dieser Untersuchung ist eine verhältnismäßig hohe Gonadendosis zu erwarten, da im Bereich des Beckens durchleuchtet werden muß.

Alter	Durchleuchtung			Aufnahmen				Gonadendosis mr	Oberflächendosis
	Kilovolt	Milliampère	min	Zahl	Format	Kilovolt	Milliampère Sek.-Produkt		
Gruppe I									
5 Mo.	65	0,7	2½	3	18/24 24/30	84—86	4	51	935
8 Mo.	65	0,8	2¾	4	18/24	90	3,5—4,5	480	2500
10 Mo.	65	0,7	3¼	10	18/24 24/30 30/40 35/35	60—92	4—16	79	530

Alter	Durchleuchtung			Aufnahmen				Gonaden-dosis mr	Ober-flächen-dosis
	Kilo-volt	Milli-ampère	min	Zahl	Format	Kilo-volt	Milliampère Sek.-Produkt		
Gruppe II									
2 3/4 J.	68	1	5	8	18/24 24/30	74—95	5—8	610	1803
Gruppe III									
4 J.	70	0,5	2	4	18/24 24/30	76—86	6—8	75	1290
6 1/2 J.	70	1	1 1/2	1	24/30	94	4	5	58
8 1/2 J.	70	0,8	5 1/2	7	24/30 30/40	78—106	6—9	283	2610
9 J.	70	0,8	2 1/2	1	30/40	96	4	55	318
				2 Ziel.-A.		94	4		
12 J.	70	1	1 1/2	2	30/40	92	4,5	26	1668

Der Kontrasteinlauf wird langsam unter Durchleuchtungskontrolle vorgenommen, bei älteren Kindern in Bauchlage. Nach Füllung des gesamten Colons wird in Rückenlage durchleuchtet zur Untersuchung der Flexuren, des Coecums, der Appendix und des Sigma. Die Schleimhautdarstellung erfolgt nach Defäkation. Während der Durchleuchtung werden je nach Befund Übersichtsaufnahmen in Großformat oder gezielte Aufnahmen gemacht.

Die Gonadendosis ist bei dieser Untersuchung in den einzelnen Fällen sehr verschieden. Von großem Einfluß ist dabei die anatomische Lage des Darmabschnittes, der besonders genauer Untersuchung bedarf.

4. Blasen-Kontrastdarstellung

Diese Untersuchung ermöglicht es, Reflux nachzuweisen oder auszuschließen, Blasendivertikel und Ureterocelen darzustellen und den Blasenhals und die Miktion zu untersuchen:

Alter	Durchleuchtung			Aufnahmen				Gonaden-dosis mr	Ober-flächen-dosis
	Kilo-volt	Milli-ampère	min	Zahl	Format	Kilo-volt	Milliampère Sek.-Produkt		
Gruppe I									
6 Mo.	70	1	3	4	18/24	68	5	220	
Gruppe II									
1 1/4 J.	70	0,6	3	3	18/24	73—77	5	30	3166
Gruppe III									
9 1/2 J.	65	1	1 1/4	3	18/24	98	20	258	810
14 1/2 J.	90	1	1	3	24/30	78—96	8	94	3125
				2 Ziel-A.		76	6		

Im ersten Fall der Gruppe III wurden Miktionsaufnahmen gemacht, während bei den übrigen Kindern hauptsächlich die Ureterenmündungen untersucht wurden. Der Unterschied in der Höhe der Gonadendosis wird daher auf die verschiedene Untersuchungstechnik zurückzuführen sein.

5. Herzkatheterisierung

Für dieses Untersuchungsverfahren können nur wenige Meßergebnisse angegeben werden, da die Gonadendosis in den meisten Fällen unterhalb des Meßbereichs lag. Die Oberflächendosis ist wegen der langen Durchleuchtung mit immer gleichbleibendem Feld sehr hoch und lag über dem Meßbereich. Aus technischen Gründen konnten die Kammern nicht während der Untersuchung nach einigen Minuten entfernt werden.

Alter	Durchleuchtung			Aufnahmen				Gonadendosis	Oberflächendosis
	Kilovolt	Milliampère	min	Zahl	Format	Kilovolt	Milliampère Sek.-Produkt	mr	
6 J.	60	0,8	15	3	24/30	76	5—6	3	
6 3/4 J.	70	0,5	11					3	
13 1/2 J.	70	0,8	9					16	8950
6 3/4 J.	70	1	1 1/2	1	24/30	86	6	5	
	80	2	4						
				25	30/30	110	2,2 (0,01 sec)		
				(Angiocardiographie)					

Im allgemeinen sind die gemessenen Werte für die Gonadendosis nicht hoch. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß während der Durchleuchtung meistens mit sehr kleinem Feld gearbeitet wurde, etwa mit einer Feldgröße von 7×7 bis 10×10 cm².

VIII. Ovarialdosis

Alle hier angegebenen Gonadendosiswerte gelten nur für Knaben. Bei Mädchen ist die direkte Messung der Gonadendosis nicht möglich. Man kann jedoch für Aufnahmen, bei denen die Ovarien im direkten Strahlengang liegen, eine grobe Schätzung der Ovarialdosis vornehmen, wenn die Oberflächendosis, die Entfernung der Ovarien von der Oberfläche und die Schwächung der Röntgenstrahlen im Körper bekannt sind.

Man benutzt die folgende Formel: $D = D_0 \times e^{-\mu x}$

Dabei bedeutet D die zu bestimmende Ovarialdosis, D_0 die Oberflächendosis und x die Entfernung der Ovarien von der Oberfläche in Zentimeter.

Die Entfernung der Ovarien wird der Hälfte des sagittalen Durchmessers in der Beckengegend gleichgesetzt. Der Schwächungskoeffizient μ der Röntgenstrahlen im Körper entspricht etwa dem Schwächungskoeffizienten im Paraffin.

Die Aufnahmen wurden am Blendentisch mit einer Filterung von 2 mm Al vorgenommen. Dem entspricht folgende Tabelle (Grebe u. Wiebe):

kV	HWS in mm Al	λ in Å E.	μ in Paraffin
45	1,5	0,46	0,227
50	1,7	0,45	0,221
55	1,85	0,44	0,215
60	2,0	0,43	0,209

Man erkennt daraus, daß bei niedriger Spannung und damit bei größerer Wellenlänge der Röntgenstrahlen der Schwächungskoeffizient wächst. Dadurch ergibt sich für die Ovardosis ein niedrigerer Wert.

Einige Beispiele für verschiedene Altersgruppen:

Alter	∅		Format	kV	mAs	OD	errechnete weibl. GD	gemessene männl. GD
Beckenaufnahmen								
7 Mo.	8,5		18/24	56	20	60	24,1	39
1¾ J.	10		18/24	48	30	121	39,6	109
2½ J.	10,5		18/24	56	25	161	52,5	40
5½ J.	11		24/30	56	30	246	75,9	188
12 J.	14,5		24/30	58	40	340	73,2	25
Abdomenübersichten								
12 Wo.	7		18/24	52	25	190	87,0	184
5½ J.	11		24/30	58	35	232	72,4	21
8 J.	11		24/30	58	40	354	110,4	170
11 J.	14,5		30/40	58	45	432	93,1	275
11¾ J.	14		30/40	56	35	245	57,7	130
i. v. Pyelogramm								
12 Wo.	7	5	18/24	52	25	950	435,1	900
2¾ J.	9,5	4	24/30	54	40	1320	471,2	1048
4¼ J.	10,5	3	24/30	58	35—50	1030	339,7	303
8½ J.	13,5	2	24/30	58	45	2296	552,2	822
		3	30/40					

Der Quotient Ovardosis : Oberflächendosis liegt im Bereich von 0,215 bei dickeren und bis 0,458 bei dünneren Kindern. Er ist abhängig von der Strahlenqualität und von der Tiefe des Ovars. Die Zahlen können nur einen ungefähren

Anhaltspunkt für die Höhe der Ovardosis geben, da bei diesem vereinfachten Ausrechnungsverfahren viel kleinere Effekte vernachlässigt werden. Man wird eine Genauigkeit von ± 30% annehmen können.

Für Erwachsene ermittelten STANFORD und VANCE mit Hilfe von Leichen- und Phantommessungen für Beckenaufnahmen den Quotienten 0,07, bezogen auf die Hautdosis über den Ovarien bei vergleichbaren kV-Zahlen. Danach errechnet sich eine kleinere Ovardosis, was aber wegen des größeren Durchmessers verständlich ist.

IX. Vergleich mit den Dosiswerten anderer Untersucher

Untersucher	technische Angaben	Alter bzw. Größe	GD männlich	Blei	GD weiblich
1. Beckenaufnahmen					
SEELENTAG	40—44 kV, 10 mAs	50—75 cm	291		30 (Rectum)
1958	42—53 kV, 10—60 mAs	75—125 cm	211		27
	55—60 kV, 60—90 mAs	über 126 cm	437		101
HARTUNG	56 kV, 0,32 sec.	11 J.	357		
1959					
WILHELM	45—52 kV (ohne Bucky)	0—4 J.	80—150		
1958	45—52 kV (mit Bucky)	0—2 J.	300—600		
BILLINGS,	46 kV	2—7 J.	280		
GREENFIELD	76 kV	7—11 J.	730		
1957					
LAUGHLIN,		0—2 J.	480		270
PULLMAN		2—7 J.	840		420
1957		7—11 J.	2100		900
LARSSON		4 J.	885		
1958		6—9 J.			280
		7—14 J.	1530		
eigene	52—56 kV, 20—25 mAs	0—1 J.	39—180		24 (errechn.)
Messungen	48—56 kV, 20—40 mAs	1—4 J.	139		46
(Mittelwerte)	52—64 kV, 28—60 mAs	über 4 J.	329	22	75
2. Abdomenübersicht					
SEELENTAG	52 kV, 60 mAs	I	202		
	52—54 kV, 60—65 mAs	II	224		51
	56—62 kV, 70—90 mAs	III	202		71
eigene	52 kV, 25 mAs	I	184		87
Messungen	55—64 kV, 25—60 mAs	III	260	22	71

Untersucher	technische Angaben	Alter bzw. Größe	GD männlich	Blei	GD weiblich
3. i. v. Pyelogramm					
Seelentag	52 kV, 300 mAs, 4—6 Aufn.	I	607		
	52—54 kV, 300—325 mAs, 4—6 Aufn.	II	900		219
	56—62 kV, 350—450 mAs, 4—6 Aufn.	III	1030		314
Hartung	52—54 kV, 0,1 sec.	3—4 Mo.	44,2—87,5		
Hammer-Jacobsen 1957	65—73 kV, 6 Aufn.	bis 15 J.	654		706
Le Febvre, Serra 1957	10 Aufn.	3 Mo.	500		300
	12 Aufn.	3 J.	1008		678
	16 Aufn.	6 J.	1520		1384
Larsson	60—70 kV, 8—20 mAs, 14—21 Aufn.	1—3 J.	2310		
	60—70 kV, 20—32 mAs, 11—18 Aufn.	4—7 J.	2310		445
	60—70 kV, 48—80 mAs, 11—18 Aufn.	10—13 J.	8130		1060
eigene Messungen	50—56 kV, 22—25 mAs, 4—6 Aufn.	I	631	11	435
	52—54 kV, 30—40 mAs, 4—5 Aufn.	II	1048	17	471
	54—66 kV, 30—55 mAs, 3—6 Aufn.	III	1146	89	446
4. Magen-Darm-Passage					
Laughlin, Pullman	(oberer Int.tract)	0—11 J.	500—600		500—750
Le Febvre, Serra	20 Aufn.	3 Mo.	220		
	16 Aufn.	3 J.	496		
	20 Aufn.	6 J.	220		
Larsson	(Magen)	0—1 J.	625		980
		1—3 J.	281		257
		7—12 J.	60		91
eigene Messungen	65—80 kV, 0,75—1 mA, 1/2—6 1/2 min.	1—4 J.	49		
	3—9 A., 58—88 kV, 4—12 mAs				
	65—70 kV, 0,5—1 mA, 3—20 1/2 min.	über 4 J.	15		
	5—18 A., 84—100 kV, 4,5—8 mAs				

Untersucher	technische Angaben	Alter bzw. Größe	GD männlich	Blei	GD weiblich
5. Kontrasteinlauf					
Laughlin, Pullman	(Durchleuchtung)	1—11 J.	420—750		420—1500
Larsson	(Colon)	unter 1 J.	2080		
		1—2 J.	1020		
		4—6 J.	635		
		8—11 J.	385		
Le Febvre, Serra	15 Aufn.	3 Mo.	450		400
	7 Aufn.	3 J.	700		455
	9 Aufn.	6 J.	900		800
eigene Messungen	65 kV, 0,7—0,8 mA, 2½—3½ min.	I	203		
	3—10 A., 60—92 kV, 3,5—16 mAs				
	65 kV, 1 mA, 5 min.	II	610		
	8 A., 74—95 kV, 5—8 mAs				
	70 kV, 0,5—1 mA, 1½—5½ min.	III	105		
	1—9 A., 76—106 kV, 4—9 mAs				
6. Herzkatheterisierung (mit und ohne Angiocardiographie)					
Seelentag	56 kV, 1750 mAs, 0,4 A. 8—28 min.	II	23		8,3
	56—60 kV, 1750 mAs 0,4 A., 8—28 min.	III	122		119
Larsson	100 kV, 1—3 mA, 16—46 min.	5—13 J.	8—43,7		16,5—63
	64—88 A. (Angio.)				
eigene Messungen	60—80 kV, 0,5—2 mA, 5½—15 min.	III	7		
	0—3 A. (25 bei Angio)				

Die großen Unterschiede sind auf die in den einzelnen Ländern sehr verschiedene Untersuchungstechnik zurückzuführen. Die technischen Daten sind deshalb, soweit sie bekannt sind, mit angegeben.

Für Untersuchungen, bei denen hier aus technischen Gründen keine Messungen der Gonadendosis möglich waren, finden sich Meßwerte in der Literatur.

Nach Seelentag stellen diese Untersuchungen den größten Anteil aller Röntgenuntersuchungen überhaupt dar (fast 80%), ihr Anteil an der Strahlenbelastung durch Röntgenuntersuchungen beträgt dagegen nur etwa 5%.

		Seelentag 1958		Hartung 1959		Wilhelm 1958	
		Skrotum	Rectum				
Lunge	I	0,34		0— 2 J.	0,09	0—1 J.	0,5—1
Aufnahme	II	0,28	0,28	2—14 J.	0,037	1—5 J.	1—2
	III	0,17	0,36			5—10 J.	1—2
Thorax	I	17,3				3 Mo.	80/30 sec
Durchl.	II	0,49	0,44			2 J.	20/80 sec.
	III	0,37	0,6 (2–3 min.)				
Schädel	II	0,29	0,11	0— 2 J.	0,101	0—5 J.	0,2—0,5
	III	0,19	0,06	2—14 J.	0,057		
Kieferhöhle				2—14 J.	0,082		
Handgelenk				0— 2 J.	0,045		
				2—14 J.	0,031		

(Gruppeneinteilung bei Seelentag: I 50—75 cm, II 76—125, III 126 und mehr)

X. Diskussion

Es ist nun zu untersuchen, ob durch die Strahlendosen, die in der pädiatrischen Röntgendiagnostik vorkommen, eine Strahlengefährdung der Kinder gegeben ist.

Hier muß wieder unterschieden werden zwischen der somatischen Schädigung, die das betroffene Kind davontragen könnte, und der genetischen Schädigung, die in späteren Generationen die ganze Bevölkerung betreffen würde.

Das Ausmaß der somatischen Schädigung hängt nicht allein von der Dosis ab, sondern auch von dem Zeitraum, während dem der Körper der Strahlung ausgesetzt war und davon, ob der ganze Körper oder nur ein Teil getroffen wurde.

Kurzfristige Ganzkörperbestrahlungen von 15 r (Schubothe) reduzieren den zirkulierenden Lymphozytenbestand, 400 r können bereits zum Tode führen. Wenn diese Dosen nur einen kleinen Teil des Organismus treffen, werden sie ohne nennenswerte Nebenerscheinungen vertragen (Schubothe).

Bei Personen, die chronischer Strahleneinwirkung ausgesetzt sind, ist mit Schädigungen des lymphatischen und blutbildenden Apparates zu rechnen. Ein Beispiel ist die höhere Leukämierate, die für Ärzte, insbesondere Radiologen, errechnet wurde (Warren). In der gleichen Statistik ergibt sich eine relative Lebensverkürzung der Radiologen von 5,2 Jahren gegenüber anderen Ärzten. Man muß annehmen, daß in dieser Statistik viele Fälle von älteren Ärzten enthalten sind, deren Geräte den jetzigen Strahlenschutzanforderungen bei weitem nicht genügen würden und die also sehr viel höheren Strahlendosen ausgesetzt waren als die jetzt tätigen Radiologen.

Eine hochdosierte örtliche Bestrahlung, wie sie bei der Therapie bösartiger Geschwülste verwendet wird, führt neben einer Störung des Allgemeinbefindens als Ausdruck einer Intoxikation mit Eiweißspaltprodukten an der bestrahlten Hautstelle zu einer Röntgendermatitis, die bei höheren Dosen eine Atrophie mit Teleangiektasien und Pigmentablagerungen, nach sehr hohen Dosen auch ein Geschwür zur Folge haben kann (Schubothe). Die heutige Bestrahlungstechnik vermag die genannten Schäden weitgehend zu verhüten. Scherer hat bei einer Untersuchung von 1722 Kindern, die 1930—1945 wegen Thymushyperplasie mit mehr als 200 r bestrahlt worden waren, Leukämie und Schilddrüsenkarzinom 2- bis 4mal häufiger als normalerweise vorkommend gefunden.

Mit den hier aufgezählten Strahlenexpositionen sind selbstverständlich die Bedingungen in der Röntgendiagnostik nicht zu vergleichen, da ja hier die Strahlendosen viel geringer sind. Jedoch kann auch bei diesen kleinen Dosen die Möglichkeit der Entstehung von Leukämie oder von bösartigen Geschwülsten nicht ausgeschlossen werden. Nach Lewis besteht für die Entstehung von Leukämie auf Grund ionisierender Strahlung kein Schwellenwert.

Nach einer Veröffentlichung des UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION ist in 1 Million von Fällen, bei denen eine Dosis von 1 rad das gesamte aktive Knochenmark getroffen hat, mit 1,5 Leukämiefällen zu rechnen. Wenn man annimmt, daß während der darauffolgenden 15 Jahre im gleichen Maß weitere Personen erkranken, kommt man auf eine Häufigkeit von 20 Fällen : 1 Million/rad. (zit. nach Webster). Nun wird aber nur in sehr seltenen Fällen eine solche Dosis bei röntgendiagnostischen Maßnahmen erreicht werden. Die Möglichkeit einer Leukämieentstehung ist also verschwindend gering. Die Häufigkeit der Entstehung von bösartigen Geschwülsten wird von Webster mit höchstens 10 : 1 000 000 angegeben, bezogen auf 1 rad in der mittleren Körperebene bei Untersuchungen mit großem Feld. Auch diese Bedingungen werden in der Röntgendiagnostik nicht häufig erreicht, besonders nicht bei Kindern. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß eine somatische Gefährdung der Patienten in der Röntgendiagnostik zwar theoretisch gegeben ist, sich in der Praxis jedoch kaum auswirken dürfte.

Eine größere Beachtung muß der genetischen Gefährdung zukommen. Es ist schon seit geraumer Zeit bekannt, daß die Einwirkung ionisierender Strahlung Genmutationen auslösen kann. Sind die Keimzellen betroffen, so ist damit eine Veränderung der Erbmasse verbunden im Sinne von rezessiven Mutationen. Da die Spermatogonien bzw. Primärfollikel schon während der Kindheit vorhanden sind, ist damit zu rechnen, daß sich an dieser Stelle alle Strahlendosen

summieren und die Zahl der Mutationen der Strahlendosis proportional ist, die während des ganzen bisherigen Lebens die Keimzellen getroffen hat, wobei die zeitliche Verteilung keine Rolle spielt.

Mutationen kommen auch schon natürlicherweise vor. Die meisten führen zu einer Verschlechterung des Erbgutes. Für den Menschen wurde die Wahrscheinlichkeit, daß ein einzelnes Gen im Laufe einer Generation von irgendeiner Mutation betroffen wird, mit 1 : 100 000 angegeben. Da der Mensch im einfachen Chromosomensatz 23 Chromosomen mit je etwa 1000 Genen hat, insgesamt also 23 000 Gene, werden schon normalerweise von 100 Keimzellen 23 an irgendeiner Stelle eine Mutation tragen. Diese Zahl erscheint zunächst überraschend hoch. Dennoch ist die Wahrscheinlichkeit, daß eine mutierte Keimzelle mit einer anderen zusammentrifft, die gerade an der gleichen Stelle eine Mutation aufweist, sehr gering. Selbstverständlich wird sie um so größer, je mehr Mutationen im Erbgut der Gesamtbevölkerung vorhanden sind. Eine Verdoppelung der natürlichen Mutationsrate wird jedoch von den Genetikern als noch tragbar angesehen (zit. nach Seelentag). Die Angaben über die Strahlendosis, die diese Verdoppelung herbeiführen könnte, schwanken zwischen 3 und 150 r. Im April 1957 wurde von dem Committee on Genetic Effects of Atomic Radiation of the National Academy of Sciences die Verdopplungsdosis mit 40 r angegeben (zit. nach Robinow und Silverman).

Eine Vorstellung von der Höhe dieser Dosis wird erleichtert durch den Vergleich mit den natürlichen Strahlenquellen. Es sind dies:

1. Die kosmische Strahlung. Sie wird in ihrer Intensität von der Absorption in der Erdatmosphäre beeinflußt und ist deshalb abhängig von der Höhe über dem Meeresspiegel.

Höhe	Dosis/Jahr	
0	35 mr	
500	41 mr	
1500	50 mr	
3000	100 mr	(Libby)

2. Die Strahlung aus dem Untergrund. Sie stammt fast ausschließlich aus Uran und Thorium bzw. aus deren Zerfallsprodukten und aus dem Kaliumisotop K 40. Ihre Intensität ist daher von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängig.

Granit (durchschn.)	95 mr/Jahr	
Granit (Zentralalpen)	228	„
Lehmboden	82	„

Sandstein	37 mr/Jahr	
Kalkstein	26 „	
Meer	0,5 „	(Spiers)

3. In Gebäuden kommt noch eine Strahlung aus radioaktiven Elementen der Baustoffe hinzu.

Holz	50 mr/Jahr	
Backstein	104 „	
Beton	171 „	(Sievert)

4. Die Eigenstrahlung des menschlichen Körpers, die durch inkorporierte radioaktive Substanzen verursacht wird.

K 40	15,6 mr/Jahr	
C 14	1,2 „	
Ra	5,16 „	(Coursaget)

Für die Bevölkerung von Hamburg kann die durchschnittliche Strahlenbelastung aus natürlichen Quellen mit 130 mr/Jahr angegeben werden oder umgerechnet auf 30 Jahre:

4 r/Generation.

Diese Dosis könnte also durch künstliche Strahleneinwirkung um das Zehnfache erhöht werden, ohne daß eine Degeneration des menschlichen Geschlechtes befürchtet werden müßte. Zur größeren Sicherheit ist aber nach dem Beschluß der Internationalen Strahlenschutzkommission (1956) nur ein Viertel dieser Dosis, also 10 r/Generation, als Gonadendosis für weite Bevölkerungskreise zulässig.

Außer der medizinischen Anwendung von ionisierenden Strahlen sind folgende Quellen für die zusätzliche Strahlenbelastung in Betracht zu ziehen:

1. Der radioaktive Fall-out von Atomexplosionen, das sind die bei der Explosion freigewordenen radioaktiven Isotope, die zum Teil in der Nähe des Explosionsortes zu Boden sinken und zu einem anderen Teil in die oberen Schichten der Stratosphäre geschleudert werden und von dort in ziemlich gleichmäßiger Verteilung während der folgenden Jahre wieder auf den Erdball herabsinken. Die Aufnahme in den menschlichen Organismus erfolgt mit Atmung, Nahrung und Trinkwasser. Von besonderer Bedeutung sind die beiden Isotope Caesium 137 und Strontium 90 (Kiefer und Maushart). Sr 90 ist mit Calzium vergesellschaftet und wird mit diesem in das Knochensystem eingelagert, wobei die Belastung von Kindern entsprechend dem vermehrten Einbau von Calzium 3- bis 5mal höher ist als bei Erwachsenen. Die Gefahr liegt weniger in der Erhöhung der Gonadendosis, da die kurz-

welligen β-Strahlen die Gonaden nicht erreichen, als vielmehr in der Möglichkeit der Entstehung von Knochentumoren und Leukämie (KIEFER und MAUSHART).

Nach Explosionen konnte verschiedentlich eine vermehrte Radioaktivität in Milch und Gemüse festgestellt werden. Wichtig ist die Beobachtung, daß der kindliche Organismus einem radioaktiv verseuchten Trinkwasser die doppelte Menge Radium entnimmt wie ein Erwachsener (TRÄNKENSCHUH). Für 1958 wurde die durch Fall-out verursachte Gonadendosis pro Kopf der Bevölkerung mit 2,7 mrem angegeben (KIEFER und MAUSHART).

2. Eine berufsmäßige Belastung bestimmter Personengruppen. Die Belastung von Radiologen und Röntgenpersonal wird auf 500—5000 mrem/Jahr geschätzt; da diese Personengruppe nur 0,02% der Bevölkerung umfaßt, ist die genetisch bedeutsame Dosis, d. h. die Dosis pro Kopf der Gesamtbevölkerung, kleiner als 1 mrem/Jahr.

   Der Anteil der in Atomenergieanlagen Beschäftigten an der genetisch bedeutsamen Strahlenbelastung der Gesamtbevölkerung beträgt weniger als 0,1 mrem/Jahr (KIEFER und MAUSHART). Flugzeugführer sind in der Pilotenkabine der Strahlung aus der Radiumleuchtmasse der Kontrollinstrumente ausgesetzt. Die Dosis wird von LIBBY mit 1300 mr/Jahr angegeben.

3. Leuchtzifferblätter von Armbanduhren.

   Die Strahlung an der Glasoberfläche wird mit 1401 mr/Jahr angegeben (MÜHLEISEN). Für Menschen, die ständig eine solche Uhr tragen, ist die Gonadendosis 20 mr/Jahr (WEBSTER). Die Gonadenbelastung pro Kopf der Bevölkerung beträgt etwa 4 mrem/Jahr (KIEFER und MAUSHART).

4. Schuhdurchleuchtungen.

   Die daraus resultierende Strahlenbelastung der Gesamtbevölkerung beträgt nach Untersuchungen von SEELENTAG 0,004—0,007 mr/Jahr.

5. Fernsehgeräte.

   Nach KIEFER und MAUSHART und MÜHLEISEN kann an der Außenfläche eines normalen Fernsehgerätes keine ionisierende Strahlung nachgewiesen werden.

Zusammen ergibt sich eine künstliche Strahlenbelastung der Bevölkerung in Höhe von 8 mr/Jahr, die durch andere als medizinische Anwendung von ionisierender Strahlung entsteht. Umgerechnet für ein Generationsalter sind dies 240 mr oder 6% der natürlichen Belastung.

Der Anteil der medizinischen Anwendung von ionisierenden Strahlen wird in den einzelnen Ländern verschieden hoch eingeschätzt. Für genetische Fragen

interessiert dabei nur die durch die Röntgendiagnostik verursachte Strahlenbelastung, da die therapeutische Anwendung in der Altersgruppe von 0 bis 30 Jahren keine Rolle spielt.

Von Laughlin und Pullman wurde 1957 für USA diese Dosis mit 50 bis 135 mr pro Kopf der Bevölkerung angegeben, also 37 bis 101% der natürlichen Strahlenbelastung. Dabei ist berücksichtigt, daß in USA ein großer Teil der Röntgendiagnostik von Nicht-Radiologen durchgeführt wird. Für England wurde eine Jahresdosis von 22 mr angegeben (Intern. Commission). Etwa in der gleichen Höhe liegt eine Angabe von Seelentag für Bayern mit 19 mr, also 14% der natürlichen Strahlenbelastung.

Im schlimmsten Falle, d. h., wenn die höchste angegebene Zahl zutreffend ist, muß man heute damit rechnen, daß jeder Mensch während der ersten 30 Jahre seines Lebens einer zusätzlichen Strahlenbelastung in Höhe von 4290 mr ausgesetzt ist. Sie liegt also innerhalb des vom genetischen Standpunkt aus als unbedenklich betrachteten Bereiches von 10 r/Generation.

Die genetisch bedeutsame Strahlenbelastung der Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik im Kindesalter in Kinderkliniken wird mit 0,7 mr/Generation angegeben (Seelentag). Diese Zahl wurde auf Grund von Messungen und statistischen Erhebungen an der Universitäts-Kinderklinik München errechnet. Die mittlere Strahlenbelastung pro Patient der Klinik betrug dabei 77 mr/Jahr, also weniger als die natürliche Strahlenbelastung von etwa 130 mr/Jahr.

Bei guter Technik stellt die Röntgendiagnostik in Kinderkliniken also — zumindest in dem Umfang, in dem sie zur Zeit durchgeführt wird — keine Gefahr für die Patienten oder für spätere Generationen dar. Der Anteil der Röntgenuntersuchung an der Diagnosestellung ist dagegen in vielen Fällen sehr erheblich, so daß hier der Nutzen die mögliche Gefährdung weit überwiegt. Die mit der Röntgendiagnostik verbundene Strahlenbelastung muß aber weiterhin auf ein Mindestmaß beschränkt bleiben, zumal die Einwirkung anderer, nicht medizinischer Strahlenquellen nicht immer vermieden werden kann.

Deshalb sollten folgende Empfehlungen beachtet werden:

1. Alle Röntgenuntersuchungen, insbesondere solche, die die Bauch- und Beckenregion betreffen, sollten nur bei begründeter Indikation durchgeführt werden (Ardran, Oeser, Seelentag).
2. Die männlichen Gonaden sollten, wenn sie im direkten Strahlengang liegen, durch Blei geschützt werden (Ardran und Kemp, Bretland). Eine Messingkapsel kann bei Beckenaufnahmen von Kindern die Gonadendosis auf den 125. Teil reduzieren (Seelentag). Auch die Ovarien sollten nach Möglich-

keit bei Direktbestrahlungen durch Bleiplatten über dem kleinen Becken abgedeckt sein (Ardran, Hartung).

Hartung empfiehlt, am Thoraxstativ und am Durchleuchtungsgerät einen verstellbaren Bleigummivorhang zum Schutze des Abdomens anzubringen und bei Untersuchungen des Thorax sowie des oberen und mittleren Abdomens von weiblichen Säuglingen einen Bleigummirock als Schutz für die Ovarien zu verwenden.

3. Eine große Bedeutung für die Verringerung der Gonadendosis hat die exakte Einblendung auf das diagnostisch wichtige Gebiet (Seelentag). Besonders bei kleinen Kindern muß eine sorgfältige Blendentechnik sehr beachtet werden, da sonst sogar bei Thoraxaufnahmen die Gonaden im direkten Strahlengang liegen können (Ardran). Der Rand des primären Strahlenbündels sollte so weit wie möglich von den Gonaden entfernt sein (Ardran). Auch die Volumendosis wird durch die exakte Einblendung herabgesetzt (Stanford und Vance).

   Hartung schlägt vor, zur besseren Kontrolle der unteren, gonadennahen Begrenzungslinie des Durchleuchtungsfeldes unterhalb des Nabels eine Bleimarke anzubringen, deren Erscheinen auf dem Schirm die höhere Gefährdung der Gonaden anzeigt.

4. Klotz und Seelentag stellten fest, daß bei der Verwendung von härterer Strahlung nicht nur die Raumdosis, sondern auch die Gonadendosis herabgesetzt wird, wenn die Gonaden im primären Strahlenbündel oder in dessen Nähe liegen (6—10 cm vom Feldrand). Liegt das Untersuchungsgebiet aber in größerer Entfernung von den Gonaden, so steigt die Gonadendosis in geringem Maß wieder an. Cen und Frik kommen zu den gleichen Ergebnissen und empfehlen, überall dort, wo es diagnostisch möglich ist und die Gonaden in der Nähe des Strahlenkegels liegen, eine Spannungserhöhung auf mehr als 100 kV vorzunehmen. Ab 150 kV wird die Herabsetzung der Gesamtstrahlenbelastung so gering, daß von der Verwendung höherer Spannungen kein weiterer Gewinn zu erwarten ist. Die Oberflächendosis wird bei zunehmendem Gesamtfilter und verlängerter Belichtungszeit herabgesetzt (Schaal).

5. Bei Durchleuchtungsuntersuchungen muß eine genügende Vorbildung der Untersucher gefordert werden, damit die Untersuchung möglichst rasch und mit einem Minimum an Strahlung durchgeführt werden kann. Vor der Durchleuchtung muß sich der Untersucher genügend Zeit für die Dunkeladaption lassen.

6. Die Röntgen-Assistentin braucht gerade bei Kindern viel Zeit für die exakte Einstellung und Aufnahmetechnik. Nur so lassen sich falsch belichtete Aufnahmen, die dann wiederholt werden müssen, vermeiden. Es ist daher von seiten eines optimalen Strahlenschutzes aus erforderlich, daß genügend technische Assistentinnen vorhanden sind.
7. Bei sorgfältiger Dunkelkammertechnik kann die Strahlenmenge pro Aufnahme verringert werden.
   Hochempfindliche Filme und Folienkombinationen mit hohem Verstärkungsfaktor ermöglichen ebenfalls eine verminderte Strahlendosis (Ardran). Aufnahmen auf Papier erfordern die doppelte bis vierfache Strahlenmenge und sollten deshalb nicht mehr angefertigt werden.
8. Durch die Anwendung des Bildverstärkers bei Durchleuchtungen kann die Patientendosis auf den 5. bis 10. Teil herabgesetzt werden (Ardran).

XI. Zusammenfassung

Die bisher vorliegenden Untersuchungen über die Strahlenbelastung von Kindern durch die pädiatrische Röntgendiagnostik sind spärlich und unzureichend. Da die Untersuchungstechnik, das Aufnahmeverfahren und die Dunkelkammertechnik in jeder Röntgenabteilung verschieden gehandhabt werden, lassen sich die vorliegenden Meßergebnisse nicht ohne weiteres verallgemeinern. Es fehlten bisher besonders Messungen über die Strahlenbelastung bei der modernen Magen-Darm-Diagnostik des Kindes.

Ziel der Arbeit war, die Oberflächen- und Gonadendosis besonders bei denjenigen Röntgenuntersuchungen zu bestimmen, die eine nennenswerte oder hohe Strahlenbelastung der Gonaden erwarten ließen. In der Untersuchung, die mit Hilfe von Ionisationskammern und dem Kondiometer (Physikalisch-Technische Werk stätten Freiburg) durchgeführt wurden, werden daher besonders Aufnahmen des Abdomens, des Beckens, der Oberschenkel, der Lendenwirbelsäule und die i. v. Pyelographie berücksichtigt.

Im Mittelpunkt standen Untersuchungen, bei denen eine Kombination von Durchleuchtung und Aufnahmen notwendig ist und die eine hohe Strahlenbelastung erwarten ließen, nämlich die Magen-Darm-Untersuchungen, Untersuchungen der Harnblase und der ableitenden Harnwege durch Reflux und der Herzkatheterismus.

Die Ergebnisse sind nach Altersgruppen geordnet und einzeln aufgeführt. Unsere Mittelwerte werden mit den Angaben anderer Untersucher verglichen. Die Ergebnisse beziehen sich natürlich nur auf die bisher angewandten Untersuchungs-

techniken. Die nicht direkt meßbare Dosis an den Ovarien wurde für Aufnahmen, bei denen die Ovarien im direkten Strahlengang liegen, nach der Oberflächendosis berechnet.

In der Diskussion wird ein Überblick über die gesamte natürliche und künstliche Strahlenbelastung gegeben. Die eigenen in der pädiatrischen Röntgendiagnostik gemessenen Oberflächen- und Gonadendosen sind dazu in Beziehung gesetzt. Empfehlungen zur weiteren Reduzierung der Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik schließen sich an.

Literaturverzeichnis

Ardran, G. M.: The Dose to Operator and Patient in X-ray Diagnostic Procedures. Brit. J. Radiol. **29** (1956), 266.

— The Implications of the White Paper. Radiography **23** (1957), 2.

— Dose Reduction in Diagnostic Radiology. Brit. J. Radiol. **30** (1957), 436.

— Die Strahlendosen bei strahlendiagnostischen Maßnahmen. Med. Klinik **54** (1959), 90.

Ardran, G. M., u. Kemp, F. H.: Protection of the Male Gonads in Diagnostic Procedures. Brit. J. Radiol. **30** (1957), 280.

Billings, M. S., Norman, A., u. Greenfield, M. A.: Gonad Dose during Routine Roentgenography. Radiology **69** (1957), 37.

Bretland, P. M.: Relative Effectiveness of Testicular Shielding in Diagnostic Radiology. Acta radiol. **51** (1959), 465.

Cen, M., u. Frik, W.: Raumdosis und Keimdrüsendosis bei verschiedenen Strahlenqualitäten in der Röntgendiagnostik. Fortschr. Röntgenstr. **88** (1958), 465.

Coursaget, J.: Mitteilungen auf dem 1. Kurs der W.H.O., Stockholm, Dezember 1955.

Glocker, R.: Röntgen- und Radiumphysik für Mediziner. Thieme, Stuttgart 1949.

Grebe u. Wiepe: Tabellen zur Dosierung der Röntgenstrahlen. Urban & Schwarzenberg, Berlin und München 1950.

Hartung, K.: Strahlenbelastung und Strahlenschutz in der pädiatrischen Röntgendiagnostik. Thieme, Stuttgart 1959.

Holthusen, H.: Die Wirkung therapeutisch angewandter Strahlung auf Atom, Zelle, Gewebe und Gesamtorganismus. In Engel-Schall: Handbuch der Röntgendiagnostik und -Therapie im Kindesalter. Thieme, Leipzig 1933.

International Commission on Radiological Protection: Exposure of Man to Ionizing Radiation arising from Medical Procedures. Physics in Medicine and Biology **2**, 107.

Kiefer, H., u. Maushart, R.: Unsere derzeitige Strahlenbelastung. Medizinische (1959), Nr. 35, S. 1521.

Klotz, E., u. Seelentag, W.: Untersuchungen zur Belastung der Keimdrüsen durch Hartstrahldiagnostik. Fortschr. Röntgenstr. **89** (1958), 92.

Larsson, L. E.: Radiation Doses to the Gonads of Patients in Swedish Roentgen Diagnostics. Acta radiol. (1958), Supplementum 157.

Lewis, E. B.: Leukemia and Ionizing Radiation. Science **125** (1957), 965.

Libby, F. W.: Dosages from Natural Radioactivity and Cosmic Rays. Science **122** (1955), 57.

Lassrich, M. A., Prévot, R., u. Schäfer, K. H.: Pädiatrischer Röntgenatlas. Thieme, Stuttgart 1955.

Mohr, H.: Zur Dosisbelastung bei der Herzkatheterisierung. Röntgenblätter, 12. Jahrg., Heft 2 (1959), 3.

— Über Messungen der Gonadendosis bei Patienten in der Röntgendiagnostik. Strahlentherapie **106** (1958), 80.

— Somatische und genetische Strahlenbelastung der Patienten in der Röntgendiagnostik. Deutsche Zentrale f. Volksgesundheit, Jahrg. 4 (1960), Heft 3.

Mohr, H., u. Starke, Th.: Strahlenbelastung der Patienten bei Thoraxuntersuchungen. Dtsch. med. Wschr. **85** (1960), 561.

Mühleisen, H.: Probleme der Strahlengefährdung und des Strahlenschutzes. Röntgen-Laborat. Praxis **11** (1958), Heft 4, R 57.

Oeser, H.: Strahlenschutz und Prophylaxe von Strahlenschädigungen. Dtsch. med. J. **8** (1957), Heft 6.

Robinow, M., u. Silverman, F. N.: Radiation Hazards in the Field of Pediatrics. Supplement to Pediatrics **20** (1957), 921.

Schaal, A.: Gesamtfilter von Röntgenröhren und Patientendosis bei Aufnahmen. Fortschr. Röntgenstr. **87** (1957), 769.

Scherer, E.: Geschwulstentstehung durch ionisierende Strahlen. Ärztl. Wschr. 11 (1956), 409.

Schlungbaum, W.: Strahlengefährdung und Strahlenschutz. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht **11** (1959), 337.

Schubothe, H.: Durch physikalische Umweltfaktoren bedingte innere Krankheiten. In Heilmeyer: Lehrbuch der inneren Medizin, Springer-Verlag, 1955.

Seelentag, W.: Strahlung und Mensch, ein brennendes Zeitproblem. Wiss. Beiblatt z. Materia med. Nordmark Nr. 23, Juni 1957.

— Die Bedeutung des Strahlenschutzes in der Röntgendiagnostik. Röntgen-Laborat. Praxis **11** (1958), Heft 9, R 129.

— Zur Wellenlängenabhängigkeit verschiedener Ionisationskammern. Fortschr. Röntgenstr. **89** (1958), 753.

— Wie „gefährlich" sind Schuhdurchleuchtungen? Med. Klin. **54** (1959), 93.

Seelentag, W., von Arnim, D., Klotz, E., u. Numberger, J.: Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin; II. Teil: Messungen über die bei röntgendiagnostischen Untersuchungen an die Gonaden gelangenden Dosen. Strahlentherapie **105** (1958), 169.

Seelentag, W., Numberger, J., Knorr, D., u. Kolberg, G.: Zur Frage der genetischen Belastung der Bevölkerung durch die Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin; IV. Teil: Die Strahlenbelastung durch die Röntgendiagnostik in Kinderkliniken. Strahlentherapie **107** (1958), 537.

Sievert, R. M., u. Hultquist, B. K. Acta radiol. **37** (1952), 388.

Spiers, F. W.: Radioactivity in Man and his Environment. Brit. J. Radiol. **29** (1956), 409.

Stanford, R. W., u. Vance, J.: The Quantity of Radiation received by the Reproductive Organs of Patients during Routine Diagnostic X-ray Examinations. Brit. J. Radiol. **28** (1955), 266.

Stuart, H. A.: Kurzes Lehrbuch der Physik, Springer-Verlag, 1954.

Tränkenschuh, L.: Über die besondere Gefährdung des Kindes durch ionisierende Strahlungen. Arch. Kinderhk. **156** (1958), 215.

Warren, S.: Longevity and Causes of Death from Irradiation in Physicians. J. Amer. Med. Ass. **162** (1956), 464.

Webster, E. W.: Hazards of Diagnostic Radiology: A Physicist's Point of View. Radiology **72** (1959), 493.

Wilhelm, G.: Die Strahlenbelastung im Kindesalter. Dtsch. med. Wschr. **83** (1958), 1618.

Magen-Darm-Passage

Gruppe III

Nr.	Alter Jahre	Durchleuchtung kV	mA	min	Aufnahmen Zahl	Format	kV	mAs	GD mr	OD mr
1	4	65	0,8	5½	1	24/30	84	4,5		
					6	Ziel-A. ∅ 8 cm	84	3,5—4	21	2300
2	5½	70	1	6½	10	Ziel-A.	84	4	17	3250
3	5½	65	0,8	19	7	13/18				
						18/24		4—5	38	2930
						24/30	86—92			
					12	Ziel-A.	88—92	4		
4	5½	70	1	4	1	24/30	92	4	15	468
					2	Ziel-A.	84	4		
5	6	65	1	18	2	18/24				
						24/30	88—92	4—6	24	2770
					10	Ziel-A.	92	4		
6	6	70	1	9	1	24/30	92	5	14	1790
					12	Ziel-A.	92	5		
7	6¼	65	0,6	6¾	6	24/30 30/40	68—70	6—7	22	141
8	6½	70	1	4¼	2	18/24	84—90	4—4,5		
						24/30			5	1200
					2	Ziel-A.	90	4,5		
9	6½	65—70	0,7	6	3	13/18	84—90	4—5		
						24/30			30	2800
					6	Ziel-A.	84	5		
10	7	65	0,8	6½	3	13/18				
						18/24	86—94	5		
						24/30			17	2852
					4	Ziel-A.	86—92	4—5		
11	7	70	0,8	8½	1	24/30	90	4,5		
					14	Ziel-A.	86—94	4,5	4	733
12	8	70	0,8	6½	3	13/18 30/40	92—94	4,5—5	4	3175
					8	Ziel-A.				
13	8	70	1	6	1	30/40	98	5		
					16	Ziel-A.	84—94	4—5	11	3191
14	8	70	1	12	2	18/24	84—98	4,5—5	12	3378
						30/40				
					14	Ziel-A.	84—98	4,5—5		
15	8½	70	1	4¾	3	18/24	88—96	4,5—7	23	3150
						24/30				
					4	Ziel-A.	84—88	4,5		
16	8¾	70	1	14	4	18/24	84—94	4—5	10	2850
						30/40				
					6	Ziel-A.	84	3,5—4,5		

Nr.	Alter Jahre	Durchleuchtung kV	mA	min	Aufnahmen Zahl	Format	kV	mAs	GD mr	OD mr
17	9	70	1	7¾	2	13/18	86—88	4—7		
						24/30			13	
					16	Ziel-A.	86—92	4		
18	9½	65	1	3¾	3	18/24	86—94	5—6		
						30/40			14	2850
					4	Ziel-A.	86—92	5—6		
19	10½	70	0,6	5	1	30/40	96	5		
					8	Ziel-A.	86	4—4,5	4	1636
20	10½	65	0,8	5	1	30/40	88	7		
					6	Ziel-A.	86—92	4	5	1170
21	10½	70	1	14	1	24/30	90	5		
					18	Ziel-A.	84—92	4—5	16	2578
22	11	70	1	6¾	2	30/40	90—95	5		
					12	Ziel-A.	84—125	4—6	13	3720
23	11	65	1	5¼	1	30/40	94	6		
					2	Ziel-A.	86	5	37	930
24	11	70	0,5—1	20	2	18/24	92—94	4,5—6		
						24/30				
					8	Ziel-A.	82—97	4—5	29	1709
25	11	65	1	10¾	4	18/24	85—92	4,5—5		
						24/30				
						30/40			7	1250
					10	Ziel-A.	94	5		
26	11	68	1	5½	1	30/40	92	5		
					8	Ziel-A.	84—86	4	4	1095
27	11	68	1	3	2	18/24	84—88	5—7		
						30/40			5	
					4	Ziel-A.	92	5		
28	12	65	1	8	1	24/30	86	5		
					10	Ziel-A.	92—94	5	3	2570
29	12	65	1	5¼	1	30/40	96	6		
					6	Ziel-A.	86—94	5—6	4	740
30	12	70	1	6	1	30/40	92	5		
					10	Ziel-A.	84—86	4	12	2618
31	12½	68	1	6	3	18/24	86—94	4—5	10	3950
						30/40				
					8	Ziel-A.	84—86	4—5		
32	12½	68	1	14½	3	13/18	84—86	4—7		
						30/40			19	2713
					16	Ziel-A.	84—92	4—6		
33	13	68	1	8½	2	18/24	86	6—7	165	2545
						30/40				
					1	30/40*)	58	4,5		
					14	Ziel-A.	86	5—6		
34	13	68	1	10	2	13/18	86—96	5—6		
					12	30/40			3	2495
						Ziel-A.	86—95	5—7		

Nr.	Alter Jahre	Durchleuchtung kV	mA	min	Aufnahmen Zahl	Format	kV	mAs	GD mr	OD mr
35	13	65	1	7	1 12	30/40 Ziel-A.	98 90—95	7 5	10	2849
36	13	70	1	8½	1 6	30/40 Ziel-A.	100 92—104	6 4,5	66	1636
37	13½	65	1	7½	2 16	18/24 30/40 Ziel-A.	89—96 84—88	4—5 4—4,5	25	3800
38	14	70	0,5—1	13½	1 3	30/40 Ziel-A.	94 96	8 5	22	2830
39	15	65—70	1	7½	1 14	30/40 Ziel-A.	94 88—94	5 4—5	4	660
40	15	65	1	11	1 10	30/40 Ziel-A.	98 92—105	7 4—7	3	841
41	15	65	0,8	3	1 4	24/30 Ziel-A.	86 94	7 4	2	283

*) Abdomenübersicht in Rückenlage.
GD bei der Berechnung des Durchschnittswertes nicht mitgezählt.

Lebenslauf

Ich, Susanne Erhard, wurde am 8. Februar 1936 in Schwäbisch Hall geboren. Mein Vater ist der Kaufmann Otto Erhard, meine Mutter Marianne geborene Schwend.

Ich verbrachte meine Jugend in meiner Heimatstadt. Dort besuchte ich die Volksschule von 1942 bis 1946 und die Mädchenoberschule von 1946 bis 1955. Im Frühjahr 1955 legte ich die Reifeprüfung ab.

Im Sommersemester 1955 begann ich mein Medizinstudium in Tübingen und bestand dort im Herbst 1957 das Physikum.

Das erste klinische Semester studierte ich in München. Seit dem Sommersemester 1958 bin ich an der Universität Hamburg immatrikuliert. Am 13. Dezember 1960 habe ich das Staatsexamen an der gleichen Universität bestanden.